



WHITE PAPERS

ASK-RD-ENG-070

R&D Department

ARYA SEPEHR KAYHAN (ASK) | SHAHID SALIMI INDUSTRIAL CITY, TABRIZ, IRAN

شرکت آریا سپهر کیهان با نام اختصاری ASK، طراح و تولیدکننده پمپ های گریز از مرکز و روتاری و ارائه دهنده راهکارهای بهینه سازی سیستم های فرایندی و پمپاژ می باشد.

توجه!

مقالات تخصصی با عنوان White Papers جهت افزایش دانش عمومی پمپ ها در بخش تحقیق و توسعه این شرکت نگارش شده است. استفاده از این مقالات رایگان می باشد و لازم است جهت استفاده از محتویات آن به موارد ذیل توجه فرمایید:

- 1- انتشار مجدد مطالب مقالات (به شکل اولیه و بدون تغییر در ساختار محتوایی و ظاهری) با ذکر منبع، بلامانع است.
- 2- استفاده تجاری از محتویات مقالات در نشریات مجاز نمی باشد.

حلزونی



Volute

در خروجی پروانه، سرعت سیال می‌تواند بین ۳۰ تا ۴۰ متر بر ثانیه باشد. این سرعت باید به ۳ تا ۷ متر بر ثانیه در لوله تخلیه کاهش یابد. کاهش سرعت در سیال توسط پوسته پمپ صورت می‌گیرد. انرژی جنبشی در سیال باید در خروجی به فشار تبدیل شود. تبادل انرژی تحت شرایطی باید به فشار تبدیل شود که کمترین میزان افت را سبب شده و تأثیرات عمده‌ای بر کارایی پمپ نداشته باشد. تعدادی از تجهیزاتی که توانایی تبدیل سرعت به فشار را دارا می‌باشند:

- حلقه هدایت بدون تیغه^۱
- پوسته هم مرکز^۲
- پوسته حلزونی^۳
- حلقه تیغه‌های واگرا^۴
- تیغه‌های واگرای مورب (قطری)^۵
- تیغه‌های واگرای محوری^۶

❖ حلقه هدایت بدون تیغه

حلقه هدایت بدون تیغه از دو دیسک صاف و صیقلی تشکیل شده است. فاصله بین دو حلقه هدایت به صورت برابر است یا به سمت خروجی افزایش می‌یابد. در شکل زیر نمایی از این سیستم دیده می‌شود:

¹ Vaneless guide ring

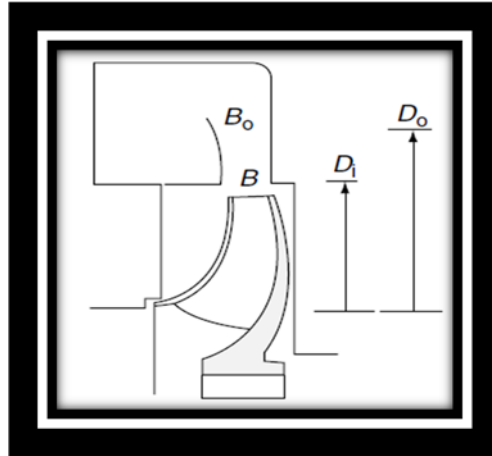
² Concentric casing

³ Volute casing

⁴ Vaned diffuser ring

⁵ Diagonal diffuser vanes

⁶ Axial diffuser vanes



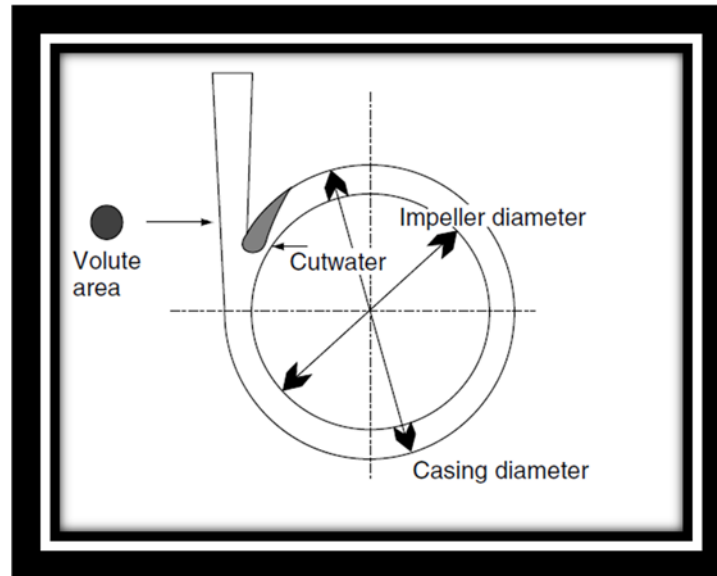
شکل ۱- حلقه هدایت بدون تیغه

در این سیستم تبدیل انرژی جنبشی سیال به فشار به طور کامل، با نسبت قطر خروجی حلقه (D_0) به قطر ورودی (D_1) آن برابر است. عرض حلقه، نقش کوچکی در تولید هد مایع دارد. چنانچه مشاهده شده است که حلقه‌هایی با عرض ثابت دارای کارایی بالاتری نسبت به حلقه‌هایی که عرض بیشتری در قسمت خروجی دارند (B_0) می‌باشند.

با توجه به مطالب عنوان شده در پاراگراف بالا، می‌توان به این نتیجه رسید که حلقه هدایت بدون تیغه، برای سرعت‌های پایین سیالات کاربرد دارد. این سیستم در پمپ‌هایی با هد پایین یافت می‌شود. برای پمپ‌هایی با هد های بالاتر، قطر خارجی حلقه باید بزرگ‌تر شود و این موضوع شاید کاربردی نباشد. حلقه‌های هدایت بدون تیغه به طور معمول در پمپ‌های پروانه‌ای جریان مختلط با سرعت مخصوص بالا، با یک مسیر تحویل حلقوی با یک مقطع ثابت، استفاده می‌شوند. این سیستم همچنین می‌تواند در پمپ‌هایی با سرعت مخصوص پایین که سیال را همراه با مواد جامد پمپ می‌کنند، استفاده شوند.

❖ پوسته‌های هم مرکز

پوسته‌های هم مرکز معمولاً در پمپ‌های سانتریفیوژ تک طبقه و یا طبقه آخر پمپ‌های چند طبقه یافت می‌شوند.



شکل ۲- پوسته‌های هم مرکز

در بعضی از طراحی‌های اولیه پمپ‌های سانتریفیوژ تک طبقه برای هدهای بیشتر، از یک مسیر تحویل حلقه‌ای در اتصال با حلقه واگرا، استفاده می‌شود. خروجی سیال از یک دیفیوزر مخروطی می‌باشد.

نسبت قطر پروانه به قطر پوسته نباید کمتر از ۱,۱۵ و بیشتر از ۱,۲ باشد. پهنای محفظه جهت تطبیق با بیشترین عرض پروانه طراحی می‌شود. ظرفیت در بهترین نقطه عملکرد با قطر محفظه (d) کنترل می‌شود. جهت کمینه کردن بازجریان در محفظه، از زبانه استفاده می‌شود. به علاوه این قطعه به کاهش بارهای شعاعی بر روی شفت کمک می‌کند.

در پمپ‌هایی با سرعت مخصوص کمتر از ۶۰۰، پوسته‌های هم‌مرکز کارایی بالاتری را نسبت به محفظه‌های معمولی ایجاد می‌کنند. در سرعت‌های مخصوص بالاتر از ۶۰۰، کارایی به طور پیش‌رونده‌ای افت می‌کند. پوسته‌های هم‌مرکز در موارد زیر مورد استفاده قرار می‌گیرند:

۱. برای دبی پایین و هد بالا، سرعت مخصوص پایین در محدوده ۵۰۰ تا ۶۰۰

۲. در مواردی که پوسته پمپ باید با چند پروانه با اندازه‌های متفاوت تطبیق داده شود

۳. در مواردی که پمپ باید از یک پوسته ساخته شده استفاده کند

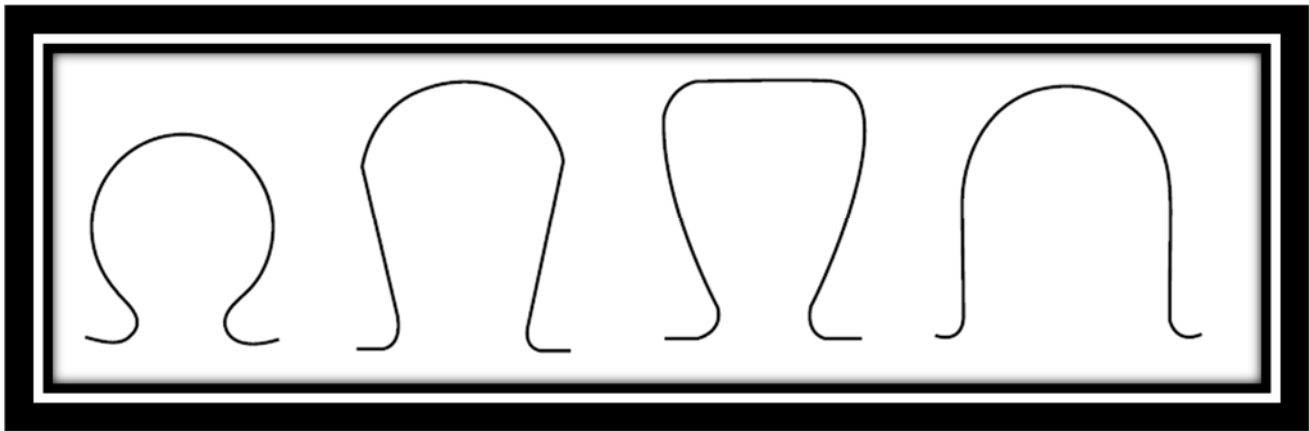
۴. در مواردی که مسیر محفظه می‌بایست از طریق یک پوسته ماشین‌کاری شود

۵. در مواردی که محدودیت‌های ریخته‌گری منجر به پروانه‌ای با پهنای بالاتر شود

❖ پوسته حلزونی

وقتی پوسته حلزونی‌ها از سطوح صیقلی ساخته شوند افت‌های هیدرولیکی بسیار کمی را ایجاد می‌کنند. در پمپ‌هایی با پوسته حلزونی، می‌توان تیغه‌های پروانه و شروود را با کمترین اثر ممکن بر روی کارایی تنظیم کرد.

در حلزونی، انرژی جنبشی به فشار تنها در محفظه واگرا، پس از گلوگاه محفظه، تبدیل می‌شود. زاویه واگرایی بین ۷ تا ۱۳ درجه می‌باشد. حلزونی می‌تواند در شکل‌های مختلفی ارائه شود:



شکل ۳- سطح مقطع‌های متفاوت محفظه

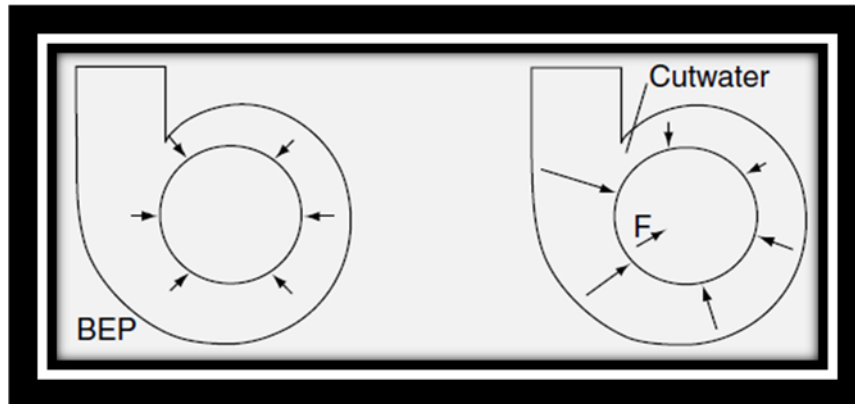
دو پروفیل اول جزء سطح مقطع‌های دایروی می‌باشند. سطح مقطع سوم، سطح مقطع دوزنقه‌ای است که به طور معمول در پمپ‌های تک‌طبقه یافت می‌شود. پروفیل آخر نیز یک پروفیل مستطیلی است. این پروفیل در پمپ‌های تک‌طبقه کوچک و پمپ‌های چندطبقه استفاده می‌شود. ساخت این پروفیل با توجه به هزینه مدل‌سازی پایین و زمان تولید آن بسیار اقتصادی می‌باشد. افت‌های هیدرولیکی در محدوده سرعت‌های مخصوص زیر ۱۱۰۰ کمینه می‌باشد. حلزونی‌ها در طراحی‌های مختلفی ارائه می‌شوند:

۱. محفظه تک

۲. محفظه دابل

❖ حلزونی تک

طراحی‌های حلزونی تک، از متداول‌ترین طراحی‌های یافت شده و جزء طراحی‌هایی می‌باشد که در سرعت‌های ثابت، دارای بالاترین کارایی در میان تمامی مدل‌ها می‌باشد. این مدل‌ها برای ریخته‌گری بسیار ساده و بسیار کم هزینه برای ساخت می‌باشند. در پوسته‌های حلزونی تک، توزیع فشار تنها در نقطه بهترین کارایی پمپ بالانس (متعادل) می‌باشد. در دیگر نقاط عملکردی، این امر سبب ایجاد بار شعاعی مازاد بر روی شفت می‌شود که در شرایط مسدود بودن دریچه خروجی (شات-اف) بیشینه و همواره در نقطه بهترین کارایی صفر می‌باشد. در نرخ‌های پایین جریان، توزیع فشار در سطوح پروانه در نزدیکی محفظه تخلیه، فشارهای بالا را نشان می‌دهد. در سمت دیگر زبانه تقریباً فشارهای پایین مشاهده می‌شود.

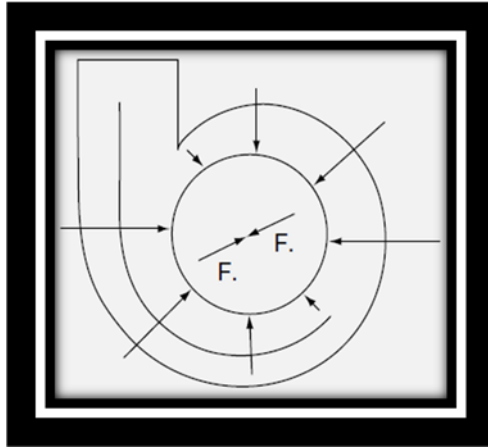


شکل ۴- نیروهای تولید شده در حلزونی تک

برآیند نیروهای نامتوازن فرض می‌شود که در نقطه‌ای با زاویه ۲۴۰ درجه از زبانه و در جهتی که به مرکز پروانه اثر کند اعمال می‌شود. به صورت تئوری، این محفظه‌ها می‌توانند در تمامی پمپ‌ها با سرعت‌های مخصوص متفاوت مورد استفاده قرار گیرند. اگرچه این محفظه‌ها در پمپ‌هایی با دبی پایین و سرعت مخصوص پایین استفاده می‌شوند. همچنین این محفظه‌ها در پمپ‌هایی که دوغاب‌ها و جامدات را جابه‌جا می‌کنند نیز استفاده می‌شوند.

❖ حلزونی دوبل

طراحی یک حلزونی دوبل، در واقع طراحی دو حلزونی تک می‌باشد که در یک آرایش متقابل ترکیب شده است. مساحت کلی گلوگاه دو محفظه کاملاً با مساحتی قابل مقایسه با طراحی حلزونی تک برابر می‌باشد.



شکل ۵- توازن نیروها در محفظه دوپل

طراحی‌های حلزونی تک، به طور ذاتی یک نیروی شعاعی بر روی شفت ایجاد می‌کند. طراحی‌های حلزونی دوپل، این نیروی شعاعی را به مقداری بزرگ‌تر محدود می‌کند.

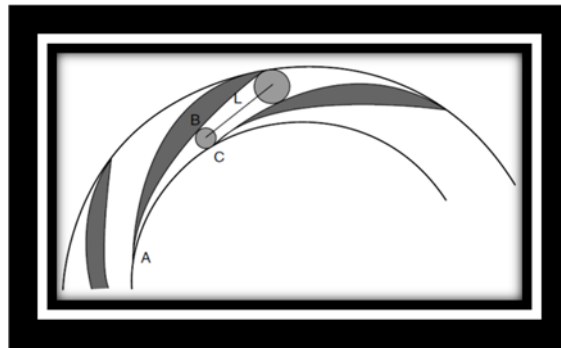
در این طراحی حلزونی حول خط مرکز متقارن می‌باشد. اگرچه دو مسیر حامل سیال به سمت فلنچ‌های خروجی متقارن نمی‌باشند. به عنوان نتیجه، نیروهای فشاری حول پروانه از بین نمی‌روند و این موضوع منجر به نیروهای شعاعی می‌شود.

عملکرد هیدرولیکی حلزونی دوپل برابر با نیروهای موجود در طراحی یک حلزونی تک می‌باشد. در نقطه بهترین کارایی، کارایی به طور حاشیه‌ای پایین‌تر می‌باشد. این در صورتی است که در نقاط عملیاتی کارایی بالاتر می‌باشد. پس برای جریان‌هایی بالاتر از محدوده کل، حلزونی دوپل ترجیح داده می‌شود.

بنابراین، نرخ جریان، معیاری ابتدایی است که نوع طراحی حلزونی را تعیین می‌کند. برای جریان‌هایی با دبی زیر ۱۲۵ متر مکعب در ساعت، طراحی‌های حلزونی دوپل به کار نمی‌رود، زیرا ساخت این محفظه‌ها و تمیزکاری در پوسته کوچک‌تر امکان‌پذیر نمی‌باشد. در پمپ‌های بزرگ‌تر، همواره از حلزونی‌های دوپل استفاده می‌شود.

❖ حلقه تیغه‌های واگرا

حلقه تیغه‌های واگرا دارای یک سری از تیغه‌های متقارن می‌باشند که به طور تدریجی مسیرهای بازی را تشکیل می‌دهند. این حلقه شامل یک سری از تیغه‌ها حول پروانه می‌باشد. جریان از تیغه‌های واگرا در محفظه و یا پوسته دایروی جمع شده و از طریق لوله تخلیه، تخلیه می‌شود.



شکل ۶- دیفیوزر تیغه‌ای

در این مسیرها، هد سرعت تبدیل به انرژی فشاری می‌شود. فاصله BC نشان داده شده در شکل گلوگاه نامیده می‌شود. طراحی دیفیوزر تیغه‌ای شبیه به محفظه می‌باشد با این تفاوت که در دیفیوزر تیغه‌ای تعداد زیادی گلوگاه وجود دارد در شرایطی که در محفظه تنها یک مسیر ممتد انبساطی داریم.

از گلوگاه به سمت جلو، مساحت کانال‌ها به طور پیش‌رونده‌ای افزایش می‌یابد که افزایش فشار بسیار کوچکی رخ می‌دهد. خط مرکز کانال‌ها پس از گلوگاه، ممکن است خمیده یا صاف باشد. کانال‌های دیفیوزر مستقیم به میزان کمی موثرتر می‌باشد اما سبب ساخت پوسته بزرگ‌تری می‌شود. سطوح تیغه از ورودی تیغه تا خارج می‌تواند شکلی همانند محفظه داشته باشد اما یک قوس دایروی نیز می‌تواند به درستی کار کند. تعداد تیغه‌های دیفیوزر معمولاً یکی بیشتر از تعداد تیغه‌های پروانه می‌باشد. اما لازم است که بدانیم تعداد تیغه‌های دیفیوزر نباید بسیار بیشتر از تعداد تیغه‌های پروانه باشد.

❖ تیغه‌های واگرای مورب (قطری)

تیغه‌های واگرای قطری در پمپ‌های پروانه‌ای جریان مختلط به کار می‌روند. عملکرد این تیغه‌ها به صورت زیر می‌باشد:

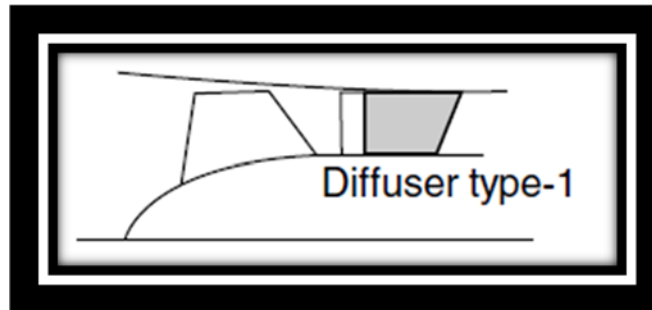
۱. تغییر جهت جریان سیالی که پروانه را ترک می‌کند و جهت دادن به سیال در جهت محور پمپ
۲. کاهش سرعت سیال و تبدیل آن به فشار

تیغه‌ها با ترتیبی که در جهت محوری دارند، کانال‌هایی را بدون هیچ تغییری در سطح مقطع ایجاد می‌کنند. این تیغه‌ها کاربری انواع پرها با اقطار مختلف را ممکن می‌سازند.

با افزایش سرعت مخصوص پروفیل پروانه و دیفیوزرها تغییر کرده و از لحاظ شکل، به پمپ‌های ملخی نزدیک می‌شوند.

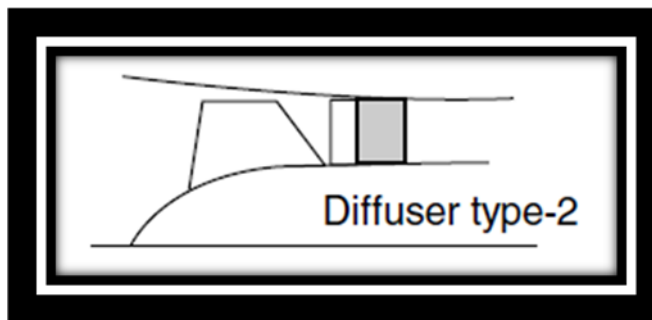
❖ تیغه‌های واگرای محوری

تیغه‌های واگرای محوری، تیغه‌هایی می‌باشند که در پشت پروانه پمپ‌های محوری قرار می‌گیرند. عملکرد این تیغه‌ها شبیه به عملکرد تیغه‌های موجود در پمپ‌های جریان مختلط می‌باشد. تعداد این تیغه‌ها به طور معمول بین ۵ تا ۸ تیغه می‌باشد. تعداد کم تیغه‌ها در پمپ‌هایی با سرعت مخصوص پایین مشاهده می‌شود. شکل زیر نشان‌دهنده این گونه از تیغه‌ها می‌باشد:



شکل ۷- پمپ جریان محوری با دیفیوزرهایی در پشت پروانه

کارایی در ناحیه به خصوصی توسط شکل مسیر واگرا تحت تاثیر قرار می‌گیرد. این وابستگی بسته به تعداد تیغه‌ها، طول محوری، فاصله بین تیغه‌های پروانه و تیغه‌های دیفیوزر می‌باشد. پره‌های کوتاه با تعداد بیشتر برای یک جریان و هد داده شده، کارایی بالاتری را ارائه می‌دهند. در شکل زیر این نمونه را مشاهده می‌کنید:

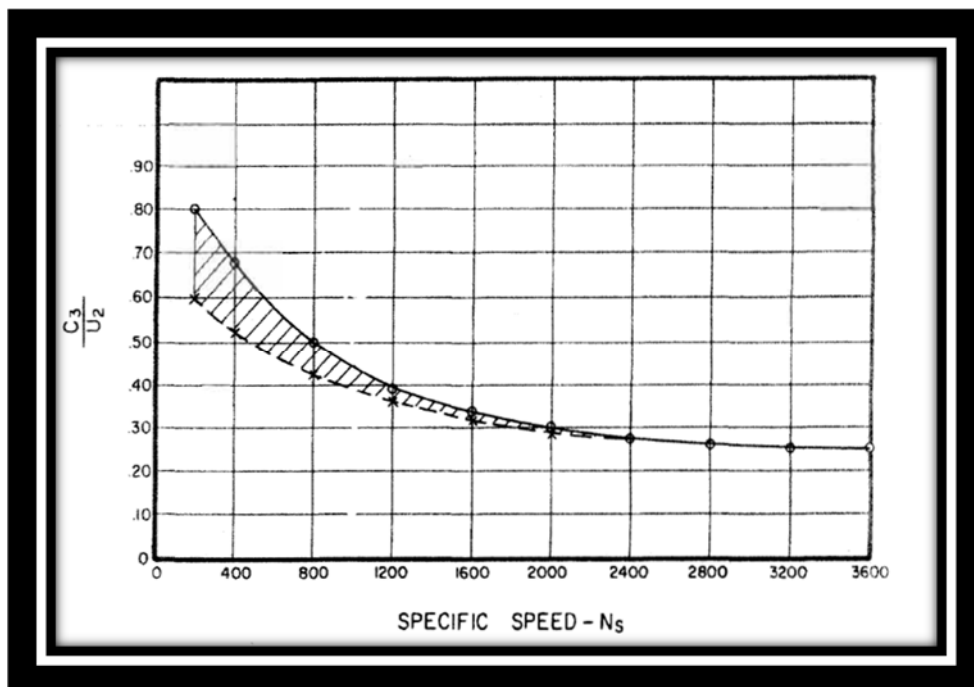


شکل ۸- پمپ جریان محوری با دیفیوزرهایی در پشت پروانه

وقتی سرعت مخصوص بالاتر باشد، این تیغه‌ها زائد و اضافی می‌باشند و یک دیفیوزر معمولی مخروطی می‌تواند جایگزین آن شود.

۲. طراحی حلزونی

همان طور که می‌دانیم، وظیفه اصلی حلزونی، تبدیل انرژی جنبشی که از طریق پروانه به سیال داده می‌شود، به فشار می‌باشد. پوسته پمپ هیچ قطعه‌ای جهت تولید هد کلی ندارد و بنابراین تنها در کاهش افت‌ها تاثیرگذار می‌باشد. سرعت مطلق سیال در خروجی پروانه یک پارامتر مهم در طراحی پوسته پمپ می‌باشد. این سرعت که به طور قطع متفاوت از سرعت متوسط سیال در قسمت‌های پوسته می‌باشد، پارامتری اولیه در طراحی پوسته می‌باشد. رابطه بین این دو سرعت به طور غیرمستقیم در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل ۹- نسبت سرعت محفظه به سرعت حول پروانه

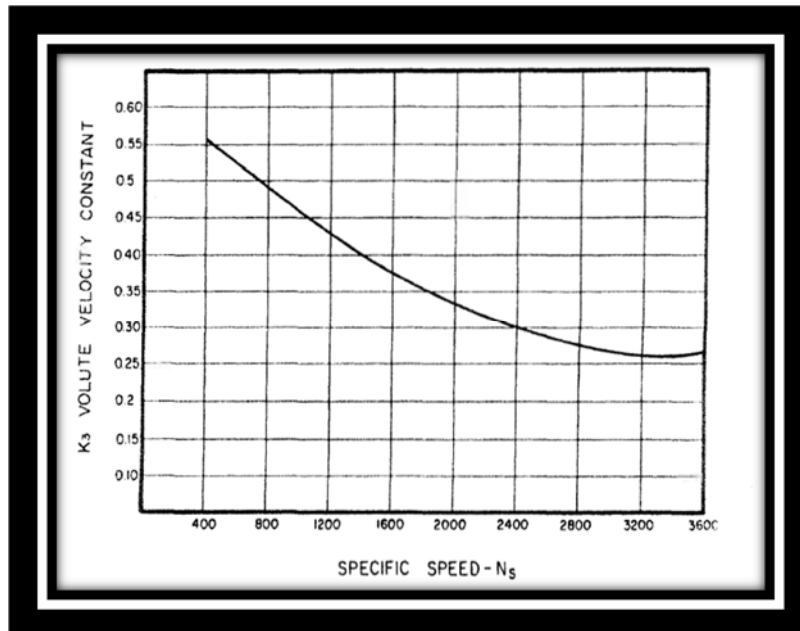
حلزونی نیز همانند دیگر اجزای پمپ، بر اساس سرعت متوسط طراحی می‌شود. سرعت متوسط سرعتی است که از تقسیم جریان بر مساحت کلی عمود بر جهت جریان به دست می‌آید. طراحی‌ها معمولاً بر اساس نقطه بهترین کارایی دلخواه و عملکرد تخمینی کلی انجام می‌شود. نتایج تست‌هایی که در آن‌ها توزیع فشار در پوسته حلزونی اندازه‌گیری شده است، موارد زیر را بازگو می‌کنند:

- ✓ بهترین حلزونی‌ها از طراحی سرعت ثابت می‌باشند.
- ✓ انرژی جنبشی تنها در محفظه واگرا بلافاصله پس از گلوگاه حلزونی به فشار تبدیل می‌شود.

- ✓ موثرترین پمپ‌ها از یک محفظه واگرا با زاویه واگرایی کلی بین ۷ تا ۱۳ درجه استفاده می‌کنند.
- ✓ حتی بهترین طراحی نازل خروجی تبادل کامل انرژی جنبشی به فشار را انجام نمی‌دهد.

خصوصیات هیدرولیکی پوسته حلزونی، تابعی از المان‌های طراحی زیر می‌باشد:

۱. قطر پروانه
۲. قطر زبانه (این پارامتر به صورت مستقیم با سرعت مخصوص در ارتباط می‌باشد)
۳. زاویه لبه حلزونی (این پارامتر جهت تطبیق با زاویه مطلق جریان در خروجی پروانه انتخاب می‌شود. اگرچه، تغییرات قابل ملاحظه‌ای از پمپ‌های با سرعت مخصوص‌های پایین تا متوسط قابل قبول می‌باشد).
۴. مساحت‌های حلزونی (این مساحت‌ها از زبانه حلزونی به سمت نازل و خروجی حلزونی به طور تدریجی افزایش می‌یابند و بدین گونه مسیر تخلیه را در پیرامون پروانه قرار می‌دهند)
۵. عرض حلزونی (b_3) (این پهنا ۱,۶ تا ۲ برابر عرض پروانه (b_2) می‌باشد).
۶. قطر نازل خروجی
۷. مساحت گلوگاه (این مساحت، مهمترین فاکتور در تعیین ظرفیت پمپ در نقطه بهترین کارایی می‌باشد و با استفاده از نمودار زیر تعیین می‌شود)



شکل ۱۰- ثابت سرعت حلزونی

۲.۱ انواع طراحی‌های حلزونی

طراحی‌های مختلفی از حلزونی وجود دارد که امروزه در حال ساخت می‌باشند.

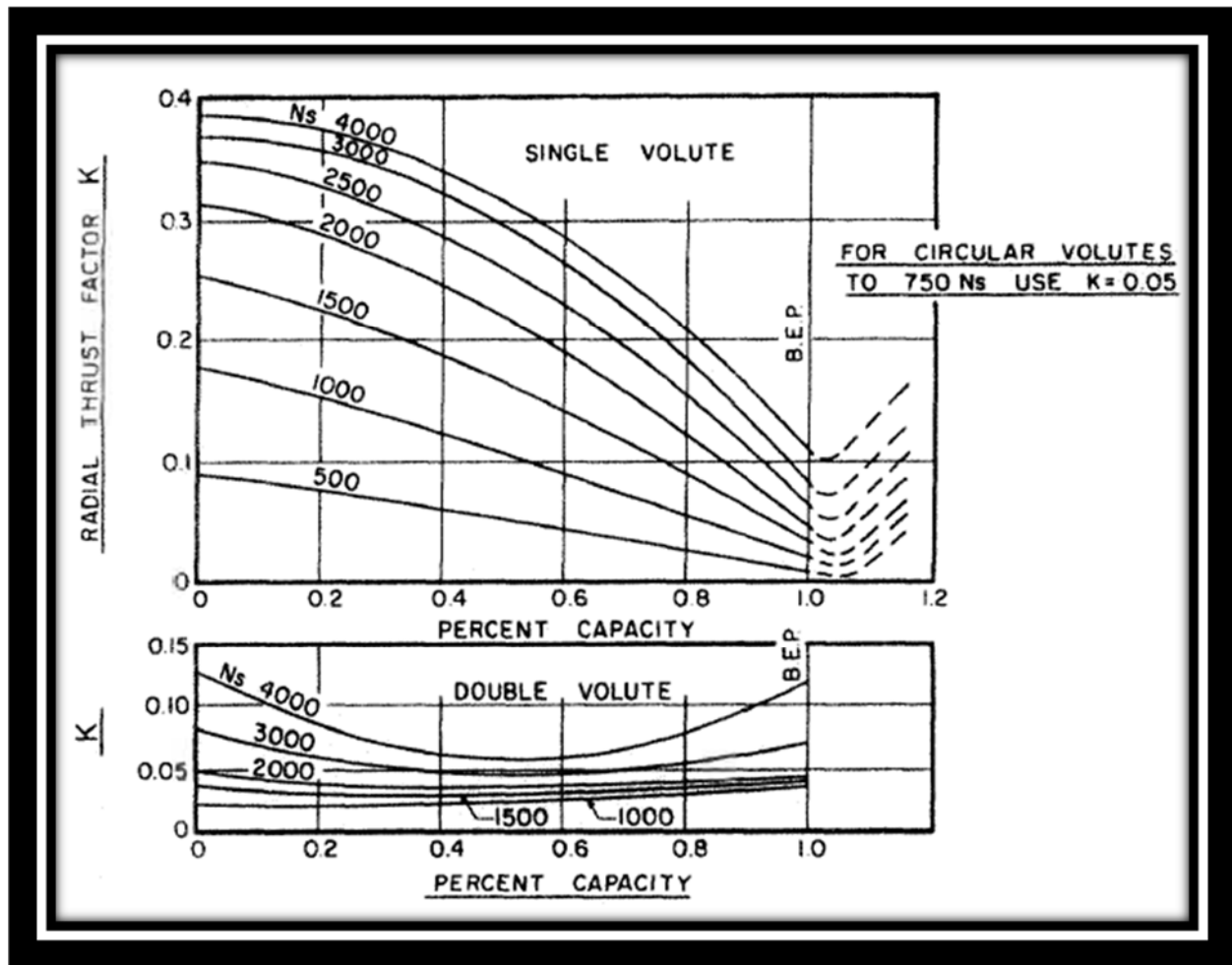
۲.۱.۱ طراحی‌های پوسته حلزونی تک

پمپ‌هایی که از طراحی‌های حلزونی تک با سرعت ثابت استفاده می‌کنند موثرتر از پمپ‌هایی می‌باشند که از طراحی‌های پیچیده حلزونی بهره می‌برند. همچنین ریخته‌گری این حلزونی‌ها آسان‌تر و ساخت و تولید آن‌ها اقتصادی‌تر و راحت‌تر می‌باشد (به دلیل فضای باز پیرامون پروانه). از لحاظ تئوری این محفظه‌ها می‌توانند در پمپ‌های بزرگ همانند پمپ‌های کوچک، در تمامی سرعت‌ها، به کار روند.

در تمامی پمپ‌های دارای حلزونی، توزیع فشار در پیرامون پروانه تنها در نقطه بالاترین کارایی یکنواخت می‌باشد. این تعادل فشاری، وقتی که پمپ در هر سمت نقطه بهترین کارایی کار کند، از بین می‌رود که این موضوع سبب ایجاد بار شعاعی بر روی پروانه می‌شود. این بار شفت پمپ را دچار خمش می‌کند و می‌تواند سبب ایجاد سایش بیش از حد در رینگ‌های سایشی، آب‌بندها، پکینگ‌ها و یاتاقان‌ها شود. در موارد بسیار شدید، شکست شفت با توجه به شکست خستگی رخ می‌دهد. شدت این بار شعاعی از طریق زیر محاسبه می‌شود:

$$P = KHD_2B_2 sp gr / 2.31 \quad (1)$$

مقادیر تجربی ثابت k در نمودارهای زیر نشان داده شده است.



شکل ۱۱- فاکتور تراست شعاعی

برای یک پمپ حلزونی تک، این مقدار در شرایط شات-آف به میزان حداکثر خود رسیده و بر اساس سرعت مخصوص بین ۰,۰۹ تا ۰,۳۸ متغیر می‌باشد. تاثیر این نیرو در پمپ‌های حلزونی تک با عرض b_2 یا پمپ‌های با ابعاد بزرگ بسیار چشم‌گیر می‌باشد. پس می‌توان گفت که حلزونی تک به طور عمده برای پمپ‌های با ظرفیت پایین، پمپ‌هایی با سرعت مخصوص پایین و یا پمپ‌هایی با کاربردهای مخصوص جهت انتقال دوغاب و یا ذرات زیر جامد معلق در سیال، کاربرد دارد.

۲,۱,۲. طراحی‌های پوسته حلزونی دوبل

یک طراحی پوسته حلزونی دوبل، در واقع طراحی دو حلزونی تک ترکیبی در جهت مقابل با یکدیگر می‌باشد. محفظه حلزونی دوبل برای حذف مشکلات نیروی شعاعی که به طور ذاتی در حلزونی‌های تک وجود دارد می‌باشد. تست‌ها و اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که نیروهای شعاعی در حلزونی‌های دوبل به میزان زیادی کاهش یافته، اما به طور کلی حذف نشده است.

پمپ‌های با حلزونی دابل نباید در جریان‌هایی با دبی پایین (کمتر از ۴۰۰ گالن در دقیقه) استفاده شوند.

۲,۱,۳. پوسته حلزونی سه گانه

بعضی از پمپ‌ها از حلزونی سه گانه که به طور متقارن حول پروانه قرار گرفته اند استفاده می‌کنند. مساحت کلی سه محفظه قابل قیاس با محفظه تکی در همان ابعاد می‌باشد. ریخته‌گری حلزونی سه گانه بسیار دشوار می‌باشد و از جهت تمیزکاری تقریبا غیر-ممکن و برای تولید بسیار پر هزینه می‌باشد.

۲,۱,۴. پوسته حلزونی چهار گانه

در حدود ۱۵ سال قبل، حلزونی ۴ پره ساخته شد. مسیر خروج سیال در این حلزونی‌ها بسیار شبیه به مسیر تخلیه کناری پمپ-های چند طبقه می‌باشد. در این نوع طراحی، هیچ‌گونه مزیت خاصی وجود ندارد. تنها مزیت این طراحی، کاهش هزینه مواد خام می‌باشد. ابعاد کلی این نوع حلزونی‌ها نسبت به حلزونی‌های دابل بسیار کوچک‌تر می‌باشد.

۲,۱,۵. پوسته‌های حلزونی گرد

بسیاری از سازندگان پمپ تست‌هایی را در جهت بررسی عملکرد پمپ‌ها با حلزونی دایروی، تدوین کرده‌اند. به طور مخصوص، این نوع حلزونی، کارائی پمپ‌هایی را با سرعت مخصوص پایین‌تر از ۶۰۰ بهبود می‌بخشد. برای سرعت مخصوص بالای ۶۰۰ کارائی حلزونی دایروی، ۹۵ درصد میزان کارائی ممکن با حلزونی معمولی می‌باشد. در کاربرد حلزونی‌های دایروی شکل، موارد زیر باید در نظر گرفته شود:

- برای پمپ‌های کوچک با هد بالا و سرعت مخصوص پایین (۵۰۰ تا ۶۰۰)
- برای پوسته پمپ‌هایی جهت انطباق با پروانه‌های با سایزهای مختلف
- برای پمپ‌هایی که محدودیت‌های ریخته‌گری، پروانه‌ای با پهنا b_2 را تحمیل می‌کنند
- برای پمپ‌هایی که از پوسته‌های از پیش ساخته شده استفاده کنند
- برای پمپ‌هایی که مسیر حلزونی نیاز به ماشین‌کاری در پوسته ریخته‌گری شده را دارند

۲.۲. ملاحظات عمومی طراحی

در قسمت‌های قبل به این نتیجه رسیدیم که پوسته تنها افت‌ها را ارائه می‌دهد و هیچ چیز را به انرژی کل ایجاد شده توسط پمپ، اضافه نمی‌کند. در طراحی پوسته پمپ لازم است که از تمامی معانی مرتبط با کاهش افت پوسته، استفاده شود. اگرچه ملاحظات تجاری اختلافاتی را در رسیدن به این رهیافت ارائه می‌دهد. قوانین طراحی که در زیر مشاهده می‌شود، در تمامی طراحی‌ها کاربرد دارد:

- زوایای ثابت بر روی دیواره‌های کناری حلزونی باید به جای زوایای متفاوت در هر قسمت از حلزونی استفاده شوند. تجربه نشان می‌دهد که این دو رهیافت نتایج خوبی را سبب می‌شوند. استفاده از زوایای ثابت دیواره، هزینه و زمان تولید را کاهش می‌دهد.
- فضای حلزونی در هر دو سمت شرودهای پروانه باید متقارن باشد.
- تمامی مساحت حلزونی باید طوری طراحی شود که تغییرات بسیار کمی را دربر گیرد.
- حلزونی‌های دایروی باید برای پمپ‌هایی با سرعت مخصوص پایین‌تر از ۶۰۰ در نظر گرفته شوند. این محفظه‌ها نباید برای پمپ‌های چند طبقه مورد استفاده قرار گیرند.
- زوایای واگرایی کلی محفظه واگرا باید بین ۷ تا ۱۳ درجه باشد. تبادل نهایی انرژی جنبشی در پمپ‌های تک طبقه در نازل تخلیه و در پمپ‌های چند طبقه در نازل تخلیه و معبر تخلیه صورت می‌گیرد.
- در طراحی یک حلزونی، فضای حول پروانه باید کاملاً آزاد باشد. خصوصاً در پمپ‌های چند طبقه، باید فضای کافی بین دیواره‌های حلزونی و شرودهای پروانه جهت پیش-بینی تغییرات ریخته‌گری وجود داشته باشد. اگر محفظه‌ای این فواصل را به سختی رعایت کند، تراست محوری بالایی را تولید کرده و مشکلات ساختی فراوانی را متحمل می‌شود.

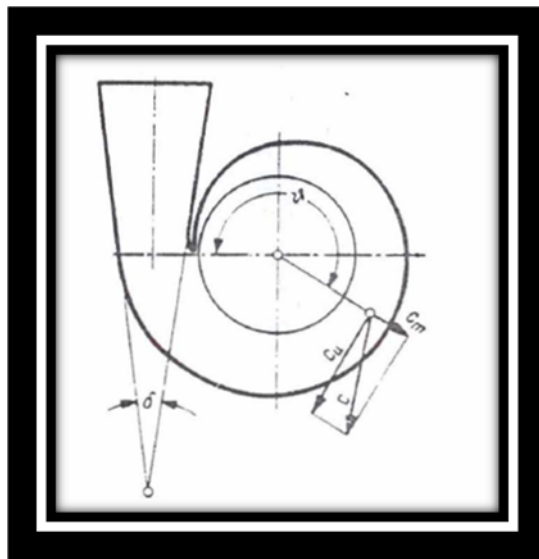
۳. روش‌های محاسبات حلزونی

۳.۱. قانون ممان ثابت مومنتوم

این روش بر اساس این فرض می‌باشد که جریان در حلزونی، قانون ممان ثابت مومنتوم را رعایت می‌کند:

$$M_m = c_u r = c_{u3} r_2 = \text{const} \quad (2)$$

این بدان معنا می‌باشد که سرعت c_u با فاصله یافتن از محور پروانه، کاهش می‌یابد. همچنین این مفهوم را پیگیری می‌کند که سرعت میانگین جریان در تمام سطح مقطع حلزونی ثابت نمی‌باشد، اما با افزایش زاویه مرکزی θ ، کاهش می‌یابد.



شکل ۱۲- پارامترهای طراحی حلزونی

قانون ممان ثابت مومنتوم برای تمامی سیالات کامل، بدون در نظر گرفتن اصطکاک، برقرار می‌باشد.

برای پمپ‌های بدون حلقه واگرا، $M_m = c_{u3} r_2$ و برای $x_0 = 90$ از فرمول پایه‌ای زیر استفاده می‌شود:

$$H_{th} = \frac{c_{u3} u_2}{g} \quad (3)$$

ما در می‌یابیم که:

$$M_m = c_{u3} r_2 = \frac{g \cdot H_{th}}{\omega} \quad (4)$$

که سرعت زاویه‌ای در آن برابر است با:

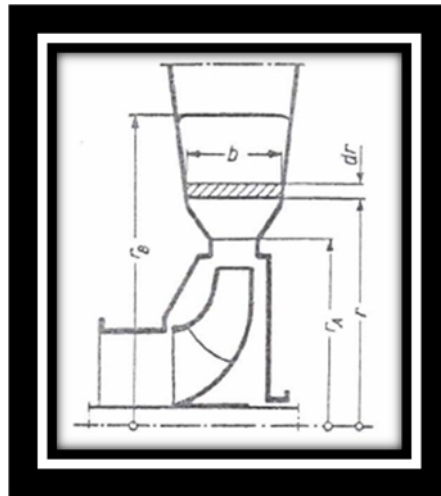
$$\omega = \frac{\pi n}{30} \quad (5)$$

برای یک عرض ثابت از حلزونی b_3 ، خط سیر ذرات سیال به صورت لگاریتمی چرخشی و با زاویه شیب α_3 می‌باشد.

اگر پهنای حلزونی افزایش یابد، زاویه شیب خط سیر کاهش یافته و فاصله از محور چرخش افزایش می‌یابد. سطح داخلی حلزونی به وسیله خط سیر ذرات مخصوص سیال شکل می‌گیرد.

۳.۱.۱. حلزونی با هر سطح مقطع اختیاری

یک حلزونی با هر شکلی از سطح مقطع فرض می‌گردد. تمامی فرضیات از لحاظ ابعادی و مساحتی در شکل زیر دیده می‌شود:



شکل ۱۳ - یک حلزونی با سطح مقطع اختیاری

حجم سیال گذرنده از مساحت اولیه در واحد زمان برابر است با:

$$dQ = d_{acu} = \frac{bd_r M_m}{r} \quad (6)$$

حجم سیال گذرنده از سطح مقطع که توسط شعاع r_A و r_B محدود می‌شود، از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Q_\theta = \int_{r_A}^{r_B} M_m \frac{bd_r}{r} \quad (7)$$

و با ترکیب $\frac{\theta}{360}$ به عنوان قسمتی از تخلیه کلی Q خواهیم داشت:

$$Q_\theta = \frac{\theta}{360} Q \quad (8)$$

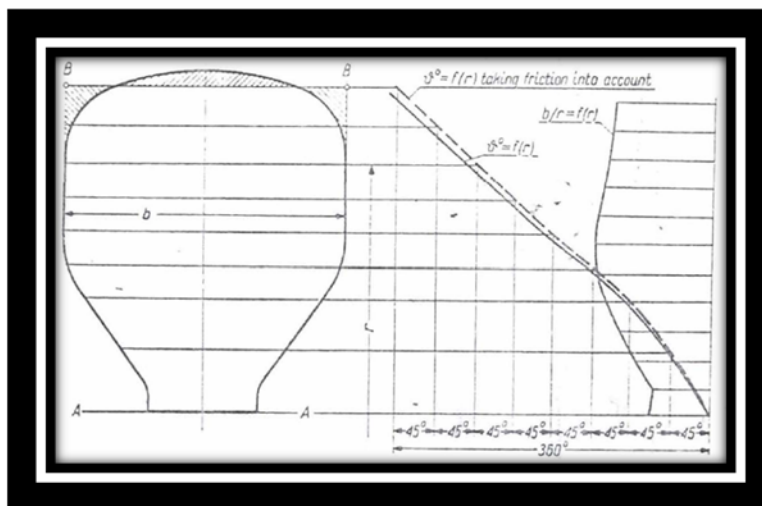
با ترکیب دو رابطه بالا خواهیم داشت:

$$\vartheta^\circ = \frac{360M_m}{Q} \int_{r_A}^{r_B} \frac{bd_r}{r} \quad (9)$$

اگر رابطه $b = f(r)$ را نتوان به صورت یک فرم متداول برای انتگرال ارائه داد، راحت تر است که مقدار انتگرال به وسیله روش جدولی محاسبه شود. برای شکل سطح مقطع انتخاب شده، اولین فرض شعاع r_A و فواصل محدود Δr و تعیین نسبت b/r می باشد.

المان $\Delta\alpha = \left(\frac{b}{r}\right)_m \Delta r$ به عنوان سطح ذوزنقه ای محاسبه می شود. سپس $\sum \Delta\alpha$ به دست آمده و زاویه ϑ از معادله ۹ محاسبه می شود.

بر پایه فرض مقادیر r_A و Δr ، منحنی $\vartheta = f(r)$ رسم می شود. معمولاً قسمت های شعاعی حلزونی در زوایای ۴۵، ۹۰، ۱۳۵، ۱۸۰، ۲۲۵، ۲۷۰، ۳۱۵ و ۳۶۰ درجه کشیده می شوند. مقادیر r_B برای این زوایا از منحنی $\vartheta = f(r)$ خوانده می شود.

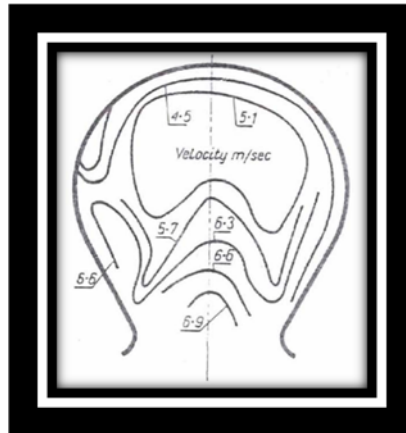


شکل ۱۴- گراف مربوط به فاصله بین دیوار خارجی پوسته و محور پروانه

این نمودارها و توابع فاصله بین دیواره خارجی پوسته و محور پروانه را برای یک سطح مقطع ارائه می دهد. روش ارائه شده در بالا بر اساس این فرض می باشد که خط BB، حلزونی را در قسمت های نصف النهاری که مستقیم و موازی محور پروانه می باشند تقسیم می کند.

اگر خط BB باید محدب باشد (که معمولاً این چنین می باشد)، یک خط هم ارز در راستای مستقیم آن بخش کشیده می شود که در نتیجه هیچ تغییری در مساحت ایجاد نمی شود. مجوز اصطکاک تا به حال در هیچ کدام از نتایج ما، اصطکاک سیال بر روی دیواره-

های پوسته در نظر گرفته نشده است. توزیع واقعی سرعت در محفظه بسیار پیچیده می‌باشد و به طور قابل ملاحظه‌ای با آنچه بر اساس قانون ممان ثابت مومنتوم محاسبه می‌شود اختلاف دارد. شکل زیر توزیع فشار را در یک حلزونی با دو ورودی با تخلیه ۴۵۰ متر مکعب در ساعت در برابر هد ۱۱،۷ متر نشان می‌دهد.



شکل ۱۵- توزیع واقعی فشار در محفظه

وجود حرکت مارپیچی در حلزونی توسط نیروی شعاعی سرعت مطلق مورد تایید قرار می‌گیرد. شکل زیر بیان‌گر این موضوع می‌باشد.



شکل ۱۶- حرکت مارپیچی سیال در حلزونی

تصویر سیال در محفظه، هم‌زمان با جریان در خروجی تغییر می‌کند. تحلیل جریان تنها به جریان در خروجی نرمال برمی‌گردد. جهت جریان کاهش سرعت ایجاد شده در اثر اصطکاک، لازم است که سطح مقطع حلزونی به وسیله ΔA افزایش یابد. فرمول زیر جهت محاسبه افزایش سطح مقطع ΔA ، پس از یک سری از ساده‌سازی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد:

$$\Delta A_1 = \frac{\lambda}{8} \frac{\pi}{180} r \int_0^{\vartheta} b d\vartheta \quad (10)$$

که در آن λ ضریب مقاومت هیدرولیکی (در حدود ۰,۰۴ فرض می‌شود)، r فاصله دیواره خارجی قسمت داده شده از حلزونی از محور پروانه و b عرض سطح مقطع داده شده می‌باشد.

انتگرال توسط روش جدولی محاسبه شده، همان‌طور که برای محاسبات پایه‌ای مساحت سطح مقطع انجام شد، با فرض فواصل محدود $\Delta\vartheta$ می‌باشد. افزایش شعاع برابر است با:

$$\Delta r = \frac{\Delta A_1}{b} \quad (11)$$

منحنی $\vartheta = f(r)$ با فرض اصطکاک در شکل شماره (۱۴) نشان داده شده است.

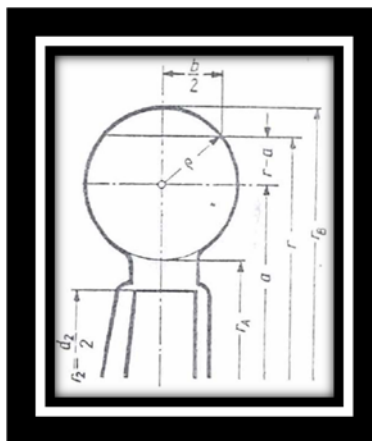
۳,۱,۲. حلزونی دایروی

اغلب حلزونی‌های با سطح مقطع دایروی، با در نظر گرفتن اشکال هندسی ساده و راحتی در محاسبه، مورد استفاده قرار می‌گیرند. مانند روش قبل، رابطه شماره (۹)، رابطه کلیدی می‌باشد. در ادامه روش محاسبه ابعاد حلزونی بدون در نظر گرفتن اصطکاک را مرور می‌کنیم. رابطه بین b و r طبق شکل شماره (۱۷)، بر اساس رابطه زیر می‌باشد:

$$\left(\frac{b}{r}\right)^2 + (r - a)^2 = \rho^2 \quad (12)$$

در شرایطی که:

$$b = 2\sqrt{\rho^2 - (r - a)^2} \quad (13)$$



شکل ۱۷- حلزونی با سطح مقطع دایروی

پس از وارد کردن این مقادیر در رابطه شماره (۹)، خواهیم داشت:

$$\int_{r_A}^{r_B} \frac{b dr}{r} = 2 \int_{a-\rho}^{a+\rho} \frac{\sqrt{\rho^2 - (r-a)^2} dr}{r} = 2\pi(a - \sqrt{a^2 - \rho^2}) \quad (14)$$

و از این رو و با توجه به رابطه شماره (۹) خواهیم داشت:

$$\vartheta^\circ = \frac{720M_m}{Q} \pi(a - \sqrt{a^2 - \rho^2}) \quad (15)$$

که در آن $M_m = c_{u3} r_2$ ممان مومنتوم در پروانه خارجی می باشد. شعاع دایره مبنای حلزونی $r_A = a - \rho$ می باشد. زبانه، که آغاز قسمت مارپیچ می باشد معمولا در این دایره قرار می گیرد. بنابراین ما می توانیم $a = \rho + r_A$ را داشته باشیم. با قرار دادن این مقدار در رابطه شماره (۱۵)، رابطه زیر را خواهیم داشت:

$$\vartheta^\circ = \frac{720\pi M_m}{Q} (\rho + r_A - \sqrt{r_A(r_A + 2\rho)}) \quad (16)$$

بر اساس این معادله، زاویه مرکزی برای شعاع مفروض ρ می تواند محاسبه شود. پس از مشخص شدن $\frac{720\pi M_m}{Q}$ به وسیله c و حل رابطه شماره (۱۶) برای ρ خواهیم داشت:

$$\rho = \frac{\vartheta^\circ}{c} r_A + \sqrt{2r_A \frac{\vartheta^\circ}{c}} \quad (17)$$

ما معمولا، زاویه ϑ° را ۴۵، ۹۰، ۱۳۵، ۱۸۰، ۲۲۵، ۲۷۰، ۳۱۵ و ۳۶۰ فرض می کنیم. شعاع قسمت نهایی برای $\vartheta^\circ = 360$ به ترتیب زیر خواهد بود:

$$\rho_{max} = \frac{Q}{2\pi M_m} + \sqrt{r_A \frac{Q}{\pi M_m}} \quad (18)$$

رابطه بالا، افت های اصطکاکی را که سبب کاهش سرعت متوسط جریان می شود در نظر نمی گیرد. برای در نظر گرفتن اثرات اصطکاک، در این مورد لازم است که مساحت سطح مقطع حلزونی افزایش یابد. برای محاسبه تصحیح خواهیم داشت:

$$\Delta\rho = \frac{\pi}{6} \lambda r_A \frac{\vartheta^\circ}{360} \quad (19)$$

پس از فرض یک مقدار برای ضریب مقاومت هیدرولیکی $\lambda = 0.0475$ ، خواهیم داشت:

$$\Delta\rho = 0.025 r_A \frac{\vartheta^\circ}{360} \quad (20)$$

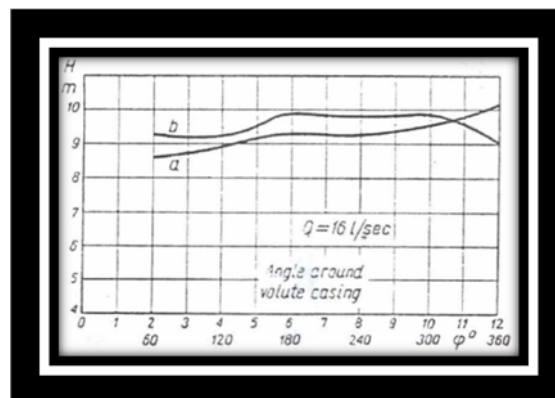
شعاع کلی برای یک سطح مقطع دایروی برای یک θ° داده شده برابر است با:

$$\rho_t = \rho + \Delta\rho \quad (21)$$

افزایش $\Delta\rho$ متناسب است با زاویه مرکزی θ° و فاصله r_A . کوچکترین شعاع $\rho_{min} = b_3/2$ ، که در آن b_3 پهنای ورودی حلزونی می‌باشد. معمولا این اتفاق رخ می‌دهد که در قسمت‌های اولیه حلزونی $\rho < b_3/2$ باشد، پس لازم است که سطح مقطع دایروی با یک سطح مقطع دوزنقه‌ای یا مثلثی با مساحت برابر جایگزین شود. خط خارجی پوسته حلزونی به وسیله روش رسم انحنای یک دایره توسط سه نقطه داده شده، رسم می‌شود.

۳.۲. قانون ثابت بودن سرعت میانگین جریان در حلزونی

ناهم‌خوانی بین توزیع سرعت واقعی در حلزونی و آنچه به وسیله قانون ممان ثابت مومنوم ارائه می‌شود، این حقیقت که مقدار Q_{opt} به وسیله مقدار نهایی سطح مقطع حلزونی تعیین شده و همچنین عدم قطعیت در محاسبه افت‌های اصطکاکی، منجر به ایجاد روش نوینی برای محاسبه سطح مقطع حلزونی شده که در آن سرعت میانگین جریان برای تمامی قسمت‌های حلزونی، ثابت در نظر گرفته می‌شود. مساحت حلزونی از این رو متناسب با زاویه مرکزی θ° افزایش می‌یابد. کارائی پمپ‌هایی که حلزونی آن‌ها بر اساس قانون ثابت بودن سرعت میانگین جریان محاسبه شده است، با کارائی پمپ‌هایی که حلزونی آن‌ها بر اساس قانون ممان ثابت مومنوم محاسبه شده است کمی متفاوت می‌باشد. از طرف دیگر، اختلاف فشار اندازه‌گیری شده در هر دو مورد را می‌توان در نمودار زیر مشاهده کرد:

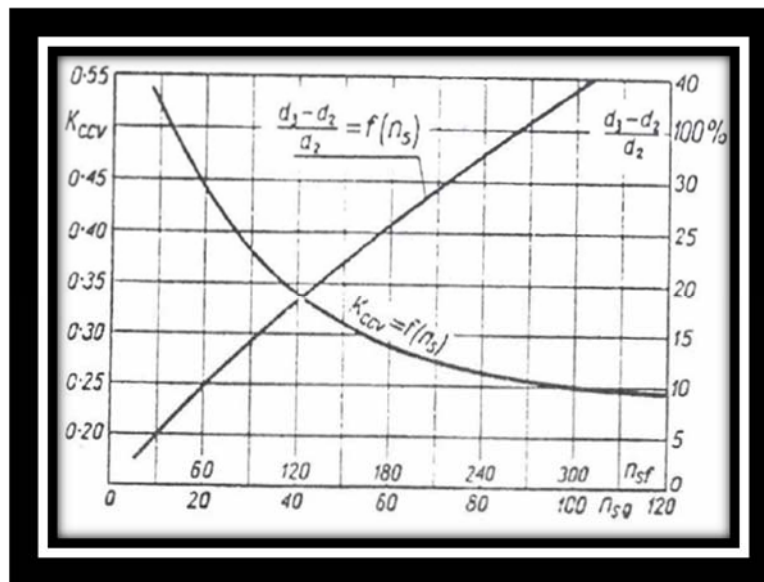


شکل ۱۸- اختلاف فشار حول حلزونی برای توزیع سرعت محاسبه شده بر اساس دو روش (a) قانون ممان ثابت مومنتوم، (b) قانون سرعت میانگین ثابت

محاسبه ابعاد حلزونی در روش سرعت میانگین ثابت، به طور قابل ملاحظه‌ای ساده‌تر می‌باشد. این روش در محاسبه حلزونی با هر سطح مقطعی قابل استفاده می‌باشد. سرعت ثابت میانگین در حلزونی از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$c_v = K_{cv} \sqrt{2gH} \quad (22)$$

که در آن K_{cv} یک ضریب تجربی، با فرض وجود توزیع سرعت غیریکنواخت و اصطکاک در حلزونی، می‌باشد. مقادیر ضریب K_{cv} در نمودار زیر ارائه شده است.



شکل ۱۹- مقادیر ضریب K_{cv}

که در آن :

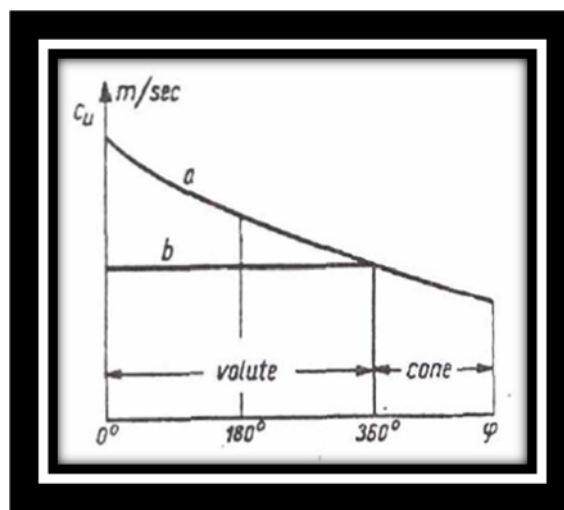
$$f(n_s) = \frac{d_3 - d_2}{d_2} \quad (23)$$

پس از یافتن مقدار c_v ، مساحت سطح مقطع حلزونی را برای زاویه مرکزی θ° از رابطه زیر محاسبه می‌کنیم:

$$A_v = \frac{Q_\theta}{c_v} \quad (24)$$

نسبت سرعت‌های c_v/c_{u3} معمولاً به مقادیر سرعت مخصوص n_s بستگی دارد و از ۰,۵۵ تا ۰,۸۲ تغییر می‌کند. مقادیر کمتر به سرعت مخصوص بالاتر برمی‌گردد.

سرعت مخصوص c_v همچنین می‌تواند از نسبت c_v/c_{u3} محاسبه شود. این نسبت، از محاسبات پمپ‌های موجود تعیین می‌گردد. از مقادیر تقریبی ۰,۸ برای سرعت مخصوص حدود ۱۰۰ تا مقادیر نزدیک به ۰,۵۳ برای سرعت‌های مخصوص نزدیک به ۰,۵۵ اختلاف سرعت در حلزونی، بر اساس دو قانون ذکر شده (قانون ممان مومنتوم ثابت و قانون ثابت بودن میانگین سرعت سیال) در شکل زیر نشان داده شده است.

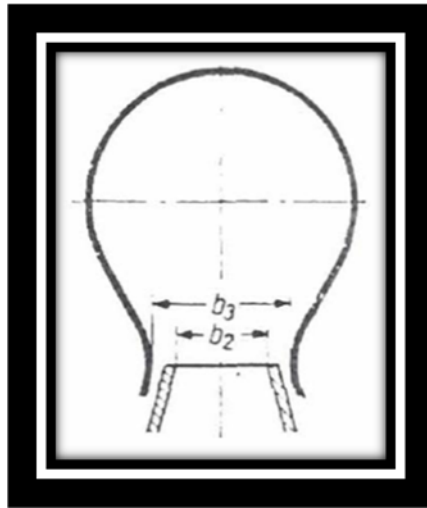


شکل ۲۰- اختلاف سرعت در حلزونی بر اساس دو روش (a) قانون ممان ثابت مومنتوم، (b) قانون سرعت میانگین ثابت

۳,۳. پهنای حلزونی در ورودی

پهنای ورودی حلزونی b_3 باید بزرگ‌تر از پهنای خروجی پروانه b_2 باشد. این موضوع جهت استفاده از پروانه‌هایی با عرض و قطر متفاوت در حلزونی ضروری می‌باشد. همچنین با این نکته، تمامی بی‌دقتی‌ها در ریخته‌گری در نظر گرفته می‌شود. این موضوع خصوصاً در حلزونی پمپ‌های چند طبقه مهم می‌باشد.

نسبت $\frac{b_3}{b_2} = 1.4 \text{ to } 1.8$ که مقادیر کمتر در آن به سرعت مخصوص‌های بالاتر باز می‌گردد، بسیار قابل توجه می‌باشد. فواصل عرضی (جانبی) بین شروود (پوسته) پروانه و پوسته، با عرض در حدود ۱۰ درصد قطر پروانه، این امر را ممکن می‌سازد که قسمتی از انرژی هدررفته از اصطکاک بین سطح خارجی پوسته پروانه و سیال بازیابی شود. می‌توان نتیجه گرفت که این موضوع سبب بهبود کارایی پمپ می‌شود.



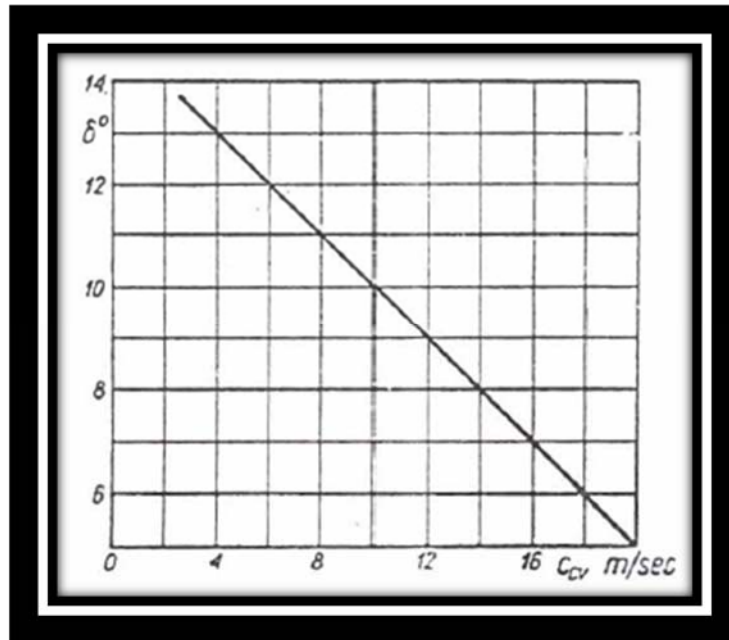
شکل ۲۱- عرض ورودی حلزونی

۳,۴. فاصله بین پروانه و زبانه حلزونی

کمترین فاصله قطعی بین پروانه و زبانه حلزونی، به قطر پروانه و مقدار سرعت مخصوص وابسته می‌باشد. این فاصله می‌تواند از طریق رابطه $\frac{d_3-d_2}{d_2}$ که در آن d_3 قطری که در آن زبانه قرار می‌گیرد و d_2 قطر پروانه می‌باشد. این رابطه در شکل (۱۹) داده شده است.

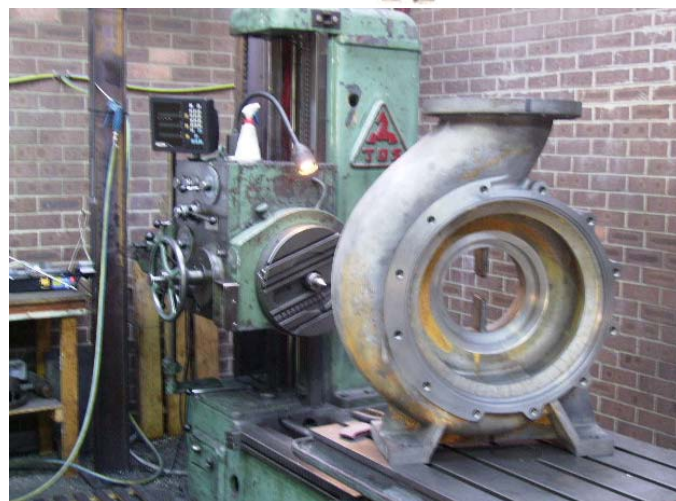
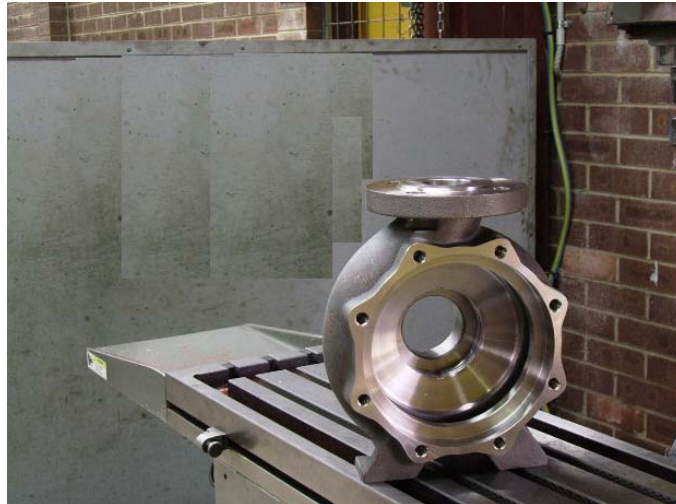
اگر فاصله بین زبانه و پروانه بسیار کوچک باشد، پمپ در هنگام کار بسیار پر سر و صدا می‌باشد و کارایی آن کاهش می‌یابد. همچنین فاصله زیاد، از آن جایی که انرژی بیشتری باید صرف شود تا جریان در فاصله بین زبانه و پروانه گردش کند، سبب کاهش کارایی می‌شود. فاصله زیاد زمانی ایجاد می‌شود که پروانه جهت کاهش هد، پایین‌تر از حد معمول تنظیم می‌شود. فاصله زیاد بین زبانه و پروانه برای پمپاژ سیالاتی که ذرات جامد در آن‌ها وجود دارد، ضروری می‌باشد. اگر این اتفاق صورت نگیرد ممکن است پمپ دچار گرفتگی و آسیب‌های جدی گردد.

سطح مقطع نهایی حلزونی به طور معمول از قطر داخلی فلنج تخلیه کوچک تر می باشد. انتقال از یک قسمت به یک قسمت دیگر باید به صورت یک روش پیوسته باشد. این عمل توسط دیفیوزر صورت می گیرد که در امتداد حلزونی قرار داشته و تغییرات نهایی انرژی جنبشی به انرژی فشاری در آن صورت می گیرد. در صورتی که حلزونی دارای سطح مقطع دایروی باشد، دیفیوزر به شکل یک مخروط بریده بریده خواهد بود. زاویه باریک شوندگی δ نباید از مقدار خاصی که به سرعت جریان (برای جلوگیری از جدایش در دیواره ها که سبب افت بسیار زیادی می شوند) بستگی دارد، بیشتر شود. نمودار زیر رابطه بین زاویه باریک شوندگی و مولفه سرعت در حلزونی را نشان می دهد.



شکل ۲۲- رابطه بین زاویه باریک شوندگی و مولفه سرعت در حلزونی

در نهایت کار تصاویری از حلزونی های تراشکاری شده را مشاهده می کنید:



شکل ۲۳- تصاویری از حلزونی‌های تراشکاری شده

[1]: Paresh Girdhar, Practical Centrifugal Pumps Design, Operation and Maintenance, Elsevier, 2005

[2]: Val s. Lobanoff, Centrifugal Pumps design and application, second edition, Gulf publishing company, 1992

[3]: STEPHEN LAZARKIEWICZ, Impeller Pumps, Pergamon Press, 1965

[4]: Johann Friedrich Gülich, Centrifugal Pumps, Springer, 2007